

# 基于 MEMS 指环式低功耗无线三维鼠标的设计

江朝强,石睿,王云飞

(武汉大学 自动化系,武汉 430072)

**摘要:**该文采用微机电系统MEMS(micro-electro-mechanic system)中典型的微机械加速度传感器MMA7260, TI MSP430AFE253超低功耗控制器, 及低功耗nRF2401无线射频模块, 设计了超低功耗体积小指环式三维空中无线鼠标, 通过传感器检测移动加速度, 再利用二重积分进行计算, 能计算出对象的移动位移和速度, 并通过指定的USB协议向PC机发送指令。文中设计已经样品化, 在作为鼠标应用上有良好的操作表现, 文中对其硬件原理设计及接口的实现作出详细的阐述。

**关键词:**微加速度计; 三维; 空中鼠标; 低功耗; 微机电系统

**中图分类号:**TP23 **文献标志码:**A

## Design of Finger Ultra Low Power Wireless Mouse for 3D Based on MEMS

JIANG Chao-qiang, SHI Rui, WANG Yun-fei

(Department of Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** With typical micro accelerometer MMA7260 in micro-electro-mechanic system, ultra-low power controller TI MSP430AFE253 and low power wireless RF module nRF2401, an ultra-low power consumption small size three-dimensional air wireless mouse was designed. Translational acceleration was detected by the sensor and calculated using double integration, the displacement and velocity of the object was obtained and sent to PC through the specified USB protocol. The sample of the design performs well in mouse application, the principle of hardware and the realization of interface were elaborated in this paper.

**Key words:** microaccelerometer; three-dimensional; air mouse; ultra-low power consumption; micro electro mechanic system (MEMS)

人类与计算机交流互动,即人机交互,一直都在探索中发展,从一开始的命令行到现在华丽的图形界面,随着计算机技术的飞速发展,这些都一一实现了。到了今天,不再需要键鼠的体感交互已经成为人机交互的一大发展方向。一直被广泛应用的键鼠设备都限制着人类与计算机的交流,鼠标键盘只能接受二维平面与字符串信息,难以满足计算机的更高应用。而基于微加速度传感器的无线鼠标则

完全没有二维的限制问题,它可以自由地在空中移动来控制电脑<sup>[1]</sup>。

本文采用美国 Freescale 公司 MMA7260 微机械加速度传感器,使用美国 TI 公司 MSP430AFE253 超低功耗控制器,集成 NORDIC 公司 nRF2401 低功耗无线射频模块,开发了新一代的基于微加速度计的指环式超低功耗无线空中鼠标,并探索该设备在非鼠标用途下用于其他体感技术设备的发展。

收稿日期:2013-05-28;修订日期:2013-06-24

作者简介:江朝强(1990—),男,工学硕士,主要从事配电网自动化方面的研究;石睿(1990—),女,工学硕士,主要从事动力工程过程优化方面的研究。

## 1 发射端硬件设计

三维立体鼠标在空中舞动时,通过 MMA7260 来获取移动加速度,通过位移算法得出移动的 X-Y-Z 的位移,并通过无线射频模块发送给接收端,接收端通过指定的 USB 协议将数据进行处理后向上级设备(例如 PC)发送,可控制 PC 指针的移动或者单击双击意图,也可对特定设备对位移特殊要求做出相应的动作。系统的总体框图如图 1 所示。

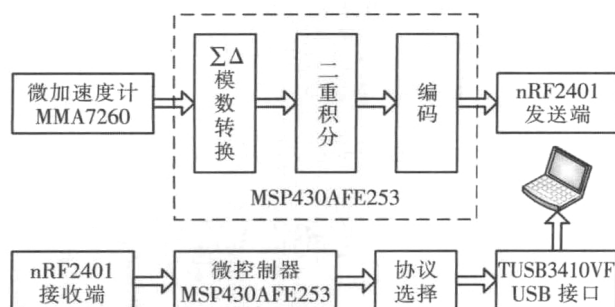


图 1 系统的总体框图

Fig.1 General system block-diagram

### 1.1 微加速度传感器 MMA7260

MMA7260 是美国 Freescale 公司推出的一款低成本单芯片三轴加速度传感器。该微型电容式加速传感器融合了信号调理、单极低通滤波器和温度补偿技术,并提供了四种加速度测量范围,分别为:  $\pm 1.5\text{ g}$ 、 $\pm 2\text{ g}$ 、 $\pm 4\text{ g}$  和  $\pm 6\text{ g}$ 。MMA7260 还具有很高的灵敏度,当选择  $\pm 1.5\text{ g}$  的测量范围时,灵敏度达到  $800\text{ mV/g}$ 。它采用  $6\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 1.45\text{ mm}$  QFN 的封装,体积超小,只需很小的板卡空间。MMA7260 提供休眠模式,是低功耗产品理想选择。MMA7260 的主要特性如下。

低功耗消耗:  $500\text{ }\mu\text{A}$ ;

休眠模式:  $3\text{ }\mu\text{A}$ ;

可选范围:  $\pm 1.5\text{ g}$ 、 $\pm 2\text{ g}$ 、 $\pm 4\text{ g}$ 、 $\pm 6\text{ g}$ ;

高灵敏度( $800\text{ mV/g}$  @  $1.5\text{ g}$ );

低电压运行:  $2.2\sim 3.6\text{ V}$ ;

快速启动时间:  $1\text{ ms}$ ;

低噪音: 达到更高分辨率和精确度;

超小体积:  $6 \times 6 \times 1.45\text{ mm}$  QFN 封装。

MMA7260 的功能如图 2 所示。X、Y、Z 三个相互垂直方向上的加速度由 G-Cell 传感单元感知,经过容压变换器、增益放大、滤波器和温度补偿后以电压信号输出<sup>[2]</sup>。

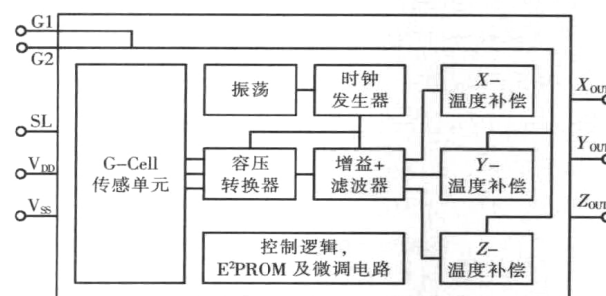


图 2 MMA7260 功能图

Fig.2 Functional diagram of MMA7260

### 1.2 微控制器设计

在本设计中使用的微控制器为美国 TI 公司 MSP430AFE253,是德州仪器 2011 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集(RISC)的混合信号处理器(Mixed Signal Processor)。该 MCU 的低功耗特性多应用于需要电池供电的便携式仪器仪表中。

本设计运用 MSP430AFE253 的体积小,超低功耗以及快速执行指令特点,设计了指环式体积小的无线三维鼠标,AFE253 其特性主要如下。

低电源电压范围:  $1.8\text{ V}\sim 3.6\text{ V}$ ;

超低功耗运行模式:  $220\text{ }\mu\text{A}$  (在  $1\text{ MHz}$  频率和  $2.2\text{ V}$  电压条件下);

待机模式:  $0.5\text{ }\mu\text{A}$ ; 关断模式 (RAM 保持):  $0.1\text{ }\mu\text{A}$ ;

5 种节能模式,可在不到  $1\text{ }\mu\text{s}$  的时间里超快地从待机模式唤醒;

16 位 RISC 架构,高达  $12\text{ MHz}$  系统时钟内部低功耗低频(LF)振荡器;

拥有 3 个具有差分 PGA 输入的 24 位  $\Sigma\Delta$  模数(A/D)转换器;

本设计原理图如图 3 所示,其中三个主要器件

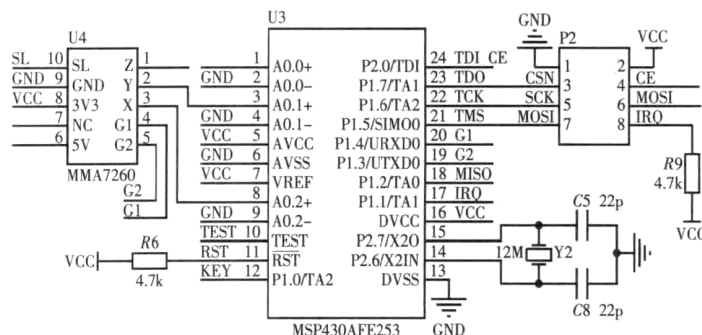


图 3 发射端原理图

Fig.3 Schematic diagram of transmitter

均为体积小低功耗器件,正常工作状态总工作电流 10 mA,当系统处于休眠状态下总工作电流为 0.502 mA,其中无线模块 nRF2401 休眠状态下功耗为 0.1 mA,在 1 ms 内能快速切换至发射模式,发射端实物图如图 4 所示。

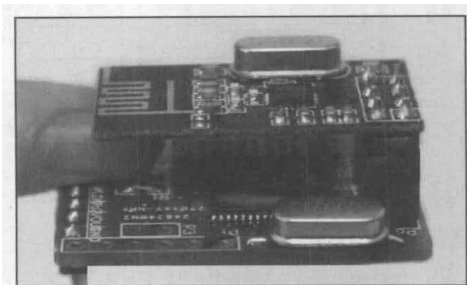


图 4 发射端实物图

Fig.4 Real product photo show of transmitter

加速度传感器三路 XYZ 模拟量输出直接接至 MCU 的三个 24 位差分 PGA 模数转换器接口采样,其中 G1,G2 用来选择灵敏度,其中设置按键 KEY 用于选择设定起始基准点。当 MCU 检测到 MMA7260 并未发生移动,此时 MCU 及无线模块进入休眠状态,MCU 定时唤醒对加速度进行采样,当发生变化时重新启动采样程序,以达到低功耗目的。

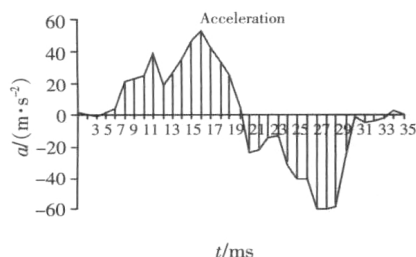
## 2 接收端硬件设计

接收端主要负责接收无线鼠标发射端位移数据及通过 USB 接口协议向 PC 机发送指定的控制指令,用于鼠标功能时,使用 Microsoft 标准鼠标协议包对数据进行上传<sup>[3]</sup>,如表 1 所示。将 Z 轴信息转换

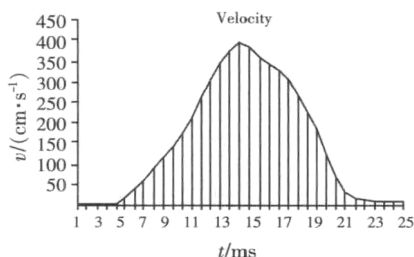
表 1 Microsoft 标准鼠标协议数据包格式

Tab.1 Packet format of microsoft standard mouse protocol

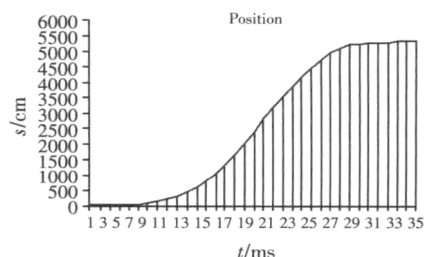
字节	各字节数据所表示的物理意义							
No	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
	1	1	LB	RB	Y7	Y6	X7	X6
	1	0	X5	X4	X3	X2	X1	X0
	1	0	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0



(a)加速度  $a$



(b)速度  $v$



(c)位移  $s$

图 6 位移算法效果示意图

Fig.6 Effect of algorithm

为单双击动作,当用于其他体感设备操作时,可以按照指定的协议将 XYZ 轴的位移信息上传。

其中主控制芯片使用 MSP430AFE253,USB 接口芯片使用 TUSB3410,将经过处理过后的芯片按照 USB2.0 协议的编码方式进行编码,通过该芯片的驱动程序和主机通,将编码好的数据传送给主机。

## 3 系统软件设计

### 3.1 三轴位移算法

由 MMA7260 获取的三轴加速度信号,经过 MCU 内置采样 AD 定时采样后,将数据进行二重积分算法得到三轴位移信息。

$$v = \int (\vec{a}) dt; \vec{s} = \int (\vec{v}) dt \quad (1)$$

$$\vec{s} = \int \left( \int (\vec{a}) dt \right) dt$$

根据上式,由 AD 采样后得到三轴加速度偏差  $\Delta a$ ,对时间间隔  $\Delta T$  进行双积分,位移按照离散积分公式计算。为了减少积分计算误差,使用梯形方式计算,梯形公式计算图如图 5 所示。

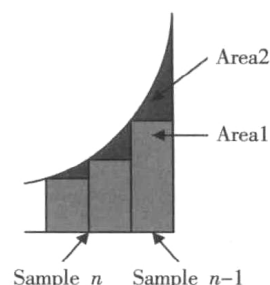


图 5 梯形示意图

Fig.5 Trapezoidal calculation chart

$$Area_n = Sample_n + \frac{|Sample_n - Sample_{n-1}|}{2} T$$

$$\vec{V}_1 = \sum_{i=0}^n \Delta a_i + \frac{|\Delta a_i - \Delta a_{i-1}|}{2} \Delta T \quad (2)$$

$$\vec{S}_1 = \sum_{i=0}^n \Delta v_i + \frac{|\Delta v_i - \Delta v_{i-1}|}{2} \Delta T$$

式中: $\Delta a_i$  为  $i$  时刻采样与基准值的差值; $\Delta v_i$  为  $i$  时刻物体移动速度; $\Delta T$  为采样间隔时间。位移效果示意图如图 6 所示。

重要的组成部分,必将成为物联网标准设备之一。 $G^2W$ 旨在提供一种通用的物联网网关解决方案,最大限度地满足网关软件的可移植性和可扩展性,满足物联网多种应用场景的需求。 $G^2W$ 并未规定实现机制,不同的硬件设计和软件实现方式在很大程度上决定了数据包吞吐率、丢包率和处理延迟等性能参数,这也是 $G^2W$ 要细化研究的内容。物联网的产业化发展需要标准的出台,望本文介绍的 $G^2W$ 可为物联网正在进行的标准工作提供参考示例。

#### 参考文献:

[1] Z Xiao Ming,Z Ning.An open,secure and flexible platform

based on internet of things and cloud computing for ambient aiding living and telemedicine[C]//Computer and Management (CAMAN),2011 International Conference on,2011:1-4.

[2] L Atzori,A Lera,G Morabito.The internet of things:A survey[J]. Computer Networks,2010,54:2787-2805.

[3] 朱洪波,杨龙祥,于全.物联网的技术思想与应用策略研究[J].通信学报,2010,31(11):2-9.

[4] Z Qian,W Ruicong,C Qi,et al.IOT gateway:bridging wireless sensor networks into internet of things [C]//Embedded and Ubiquitous Computing (EUC),2010 IEEE/IFIP 8th International Conference on,2010:347-352.

[5] C Hao,J Xueqin,L Heng.A brief introduction to IoT gateway[C]//Communication Technology and Application (ICCTA 2011),IET International Conference on,2011:610-613.

(上接第14页)

### 3.2 采样信号的滤波

利用传感器采样的数据因为电压噪音、电磁干扰等原因,每个数据都会有一定的误差。而利用低通滤波器 LPF 进行滤波可以很好地将数据的噪音去除,本设计采用滑动平均的方法进行滤波,对于抑制随机噪声并保留陡峭边沿来说非常有效,滑动平均滤波原理是对一组数组  $yt(n)$  中每个点分别进行  $N-1$  点移动平均后得到滤波结果  $fyt(n)$ ,其滤波算法模型描述如下:

$$fyt[n] = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} yt[n-i], (n \geq N-1) \quad (3)$$

式中: $N$ 为滤波滑动平均的点数; $yt(n)$ 为原始数据振幅序列第  $n$  点的采样值。

滑动平均滤波转为离散数字算法如下。

```
do{
    accelerationx[1]=accelerationx[1] + Sample_X;
    count2++;
}while(count2!=0x40);
accelerationx[1]= accelerationx[1]>>6;
```

### 3.3 系统软件设计流程

本文发射端选用 MCU 的一个 16 位定时/计数器中的 Timer0 产生定时中断,此中断两个目的:一是定时触发 AD 采样,保证采样 1 kHz 频率,确保采样计算精确;二是当 MCU 进入休眠状态时,定时器产生 50 ms 中断进行休眠唤醒,达到减少功耗作用。程序启动后即可对位移信息进行计算,一般启动后先使用设计按键进行基准点选择,在后序未手动进行基准点选择时,程序在判断速度为 0 时自动设立采样基准点。发射端程序流程如图 7 所示。

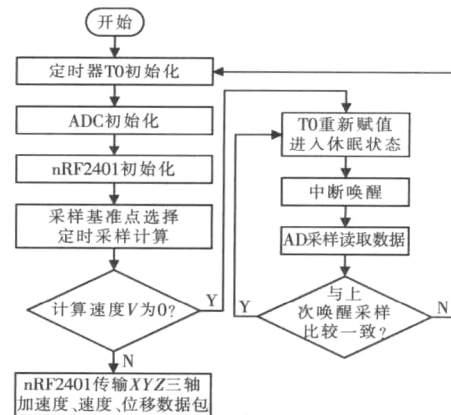


图7 发射端程序流程图

Fig.7 Program flow chart of transmitter

## 4 结语

基于 MEMS 技术的微加速度计和超低功耗设计应用于电脑输入便携设备,在功耗及外形上做出重要改进,形成了体积小指环式低功耗输入设备,本设计在电脑鼠标应用上已完全可实际操作,并具有良好的可操作性。另外,在基于 MEMS 技术电脑输入设备研究的基础上,改进设计接收端数据处理方法,具有较好的三维使用拓展空间,能开发一系列专用的游戏控制设备,有更好的游戏体验感。

#### 参考文献:

[1] S Lee,G Nam,JChae,et al.Two-dimensional position detection system with MEMS accelerometer for mouse applications[C]// Proceedings in Design Automation Conference,2001:852-857.

[2] 侯向锋,刘蓉,周兆丰.加速度传感器 MMA7260 在步态特征提取中的应用[J].传感技术学报,2007,20(3):507-511.

[3] 秦旭.计算机鼠标的硬件原理及其编程[J].电子技术,1999,26(9):23-24.